

第2節 リズム運動の3次元動体画像再構成法に関する研究

新潟大学 松浦史法, 藤澤延行, 滝沢かほる

1. 緒言

リズム体操の指導あるいは評価は、一般に平面画像で行われる。このため、その平面性が原因で被験者の3次元的な運動動作の詳細な理解や芸術性の評価が困難なことがしばしば起こる¹⁾。このような問題の解決には、立体映像ならびに計測技術の導入は有効な手段と考えられるが、リズム運動の指導、評価に有用な立体映像解析法は確立していないのが現状である。

本研究では、ステレオ写真法による3次元計測を導入することで、リズム体操者の3次元運動の解析と芸術性を評価する方法について検討することを目的とする。ここでは、複数のカメラ位置における被験者の3次元位置計測とそれに基づく立体画像の作成法について述べる。

2. 計測原理と画像表現

2.1 校正と3次元画像再構成

複数のカメラによって撮影された画像に基いて被験者の3次元位置情報を得るには、カメラ校正と3次元画像再構成が必要である。これらは、撮影に使用したカメラの写真座標系と実座標系との対応関係を明らかにすることに対応する。それには主に校正カメラによる手法と非校正カメラによる手法が提案されている (Table.1)。本研究では、3次元計測と立体画像作成を同時に要求されることから校正カメラに対する方法²⁾を用いた。この概要を以下に示す。まず Fig.1 に示すような、座標が既知である校正格子を撮影する。撮影された画像上のピクセル座標を元にして、カメラの3次元位置・傾きおよび種々の内部標定要素を求めることができる。これにより、実座標系における任意の点と焦点とを通る直線を得ることができる。この直線は、共線条件の基本式を表す (Fig.2)。実座標系の原点を図の位置に取り、カメラの実座標を $O(X_0, Y_0, Z_0)$ 、カメラのX軸方向傾きを ω 、Y軸方向傾きを φ 、Z軸方向傾きを κ 、焦点距離を c とする。焦点距離を用いることで、任意の実座標 $P(X, Y, Z)$ に相当する写真座標 $P(x, y)$ を求めることができる。また、同じ式を用いて、写真座標系における任意の点に撮影される実座標系上の3次元直線式 OP を得ることができる。写真座標と実座標との関係は次式で与えられる：

$$\begin{aligned} x &= -c \frac{a_{11}(X-X_0) + a_{12}(Y-Y_0) + a_{13}(Z-Z_0)}{a_{31}(X-X_0) + a_{32}(Y-Y_0) + a_{33}(Z-Z_0)} \\ y &= -c \frac{a_{21}(X-X_0) + a_{22}(Y-Y_0) + a_{23}(Z-Z_0)}{a_{31}(X-X_0) + a_{32}(Y-Y_0) + a_{33}(Z-Z_0)} \end{aligned} \quad (1)$$

$$X = (Z-Z_0) \frac{a_{11}x + a_{21}y - a_{31}c}{a_{13}x + a_{23}y - a_{33}c} + X_0 \quad (2)$$

$$Y = (Z-Z_0) \frac{a_{12}x + a_{22}y - a_{32}c}{a_{13}x + a_{23}y - a_{33}c} + Y_0$$

ただし

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\omega & -\sin\omega \\ 0 & \sin\omega & \cos\omega \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\varphi & 0 & \sin\varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\varphi & 0 & \cos\varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\kappa & -\sin\kappa & 0 \\ \sin\kappa & \cos\kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

(3)

複数台のカメラで同じ実空間上の点を撮影することで、直線式(2)を複数得ることができる。これらの直線式の交点が、3次元空間における実座標である。使用するカメラが非測定用カメラである場合、式(1)および(2)に、さらに内部標定要素を考慮する必要がある。本研究では、被験者に Fig.3 に示す7点の特徴点を選び、これらの点について写真座標と実座標との対応関係を算出した。これらの特徴点の座標情報から、画像内の奥行き情報が得られるため、それに基づいて立体画像を構築する。

2.2 立体画像表現

2次元平面上に3次元物体を投影し、それを立体視する手法には、裸眼立体視、偏光フィルタ法、アナグリフなど様々な方法が提案されている。これらの立体画像情報は、いずれも、人間の目の間隔だけ離れた2台のカメラから得られる情報に基づいて3次元再構成された立体情報に基づく。そのため、画像面内の位置情報に比べ、奥行き情報の位置精度はかなり低く、このような映像から3次元映像を再構成することは困難である。以上のことから、本研究では、複数台のカメラを比較的大きな角度（約30度）に設置し、より高い精度で奥行き情報を算出し、3次元位置計測に用いると同時に立体画像表現に反映させた。また、このような3次元情報は、任意の角度の3次元映像を作成する際にも有効である。

3. 結果と考察

リズム体操者の演技中の動作を2台のCCDカメラで撮影した結果の一例をFig.5に示す。ただし、カメラの位置は、被験者の正面からそれぞれ約30度の位置である。これらの画像から特徴点(Fig.3)の写真座標を読み取り、また、格子点を用いた校正情報を利用することで、それぞれの特徴点の3次元座標を算出した。その奥行き情報に応じて画像変形を施し、アナグリフ画像（立体画像）を作成した。Fig.6は、Fig.5の画像に基いて作成したアナグリフ画像である。この画像は、赤・青めがねを通して見ることで、立体感を得ることができる。平面的な画像表現(Fig.5)に比べ、腕や足などの身体部位の奥行き情報を容易に理解できる。

4. 結言

校正カメラを用いたステレオ撮影によって、動体の3次元位置計測し、それぞれのカメラ位置における立体画像を作成する方法を示した。また、その一例として、リズム体操者の動作をアナグリフ画像で表示した。

Table 1 3-D reconstruction methods

再構成法	特徴
非校正カメラによる再構成	校正が不要。実座標空間における座標が得られないので速度場が算出できない
校正カメラによる再構成	校正が必要。3次元実座標と2次元写真座標との相互変換ができる

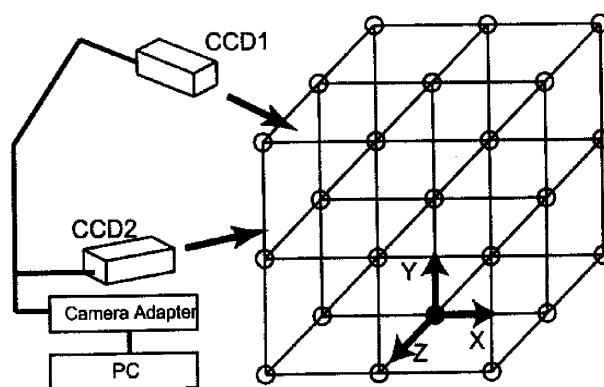


Fig.1 Calibration box

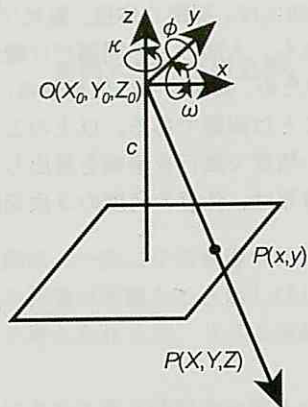


Fig.2 Coordinate system

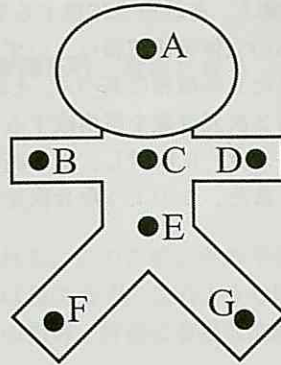


Fig.3 Characteristic points

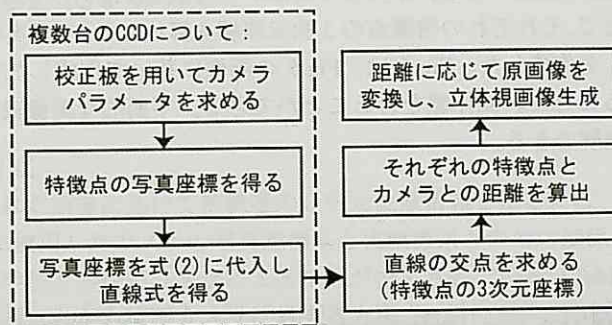


Fig.4 Flow chart

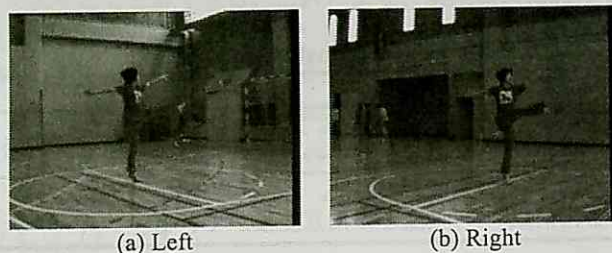


Fig.5 Original images

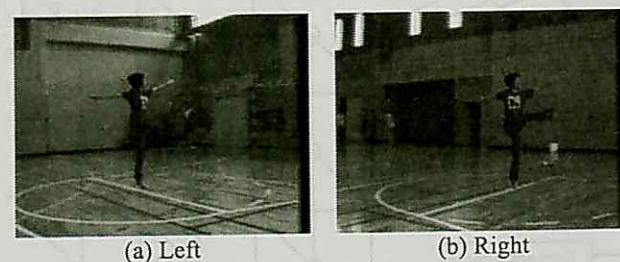


Fig.6 Anaglyph images

参考文献

- 1) Takizawa, K., Matsuura, F., Fujisawa, N., Kondo, F.: Flow of Rhythmical Movement, Science and Art 4th International Symposium, (2005) pp.105-106.
- 2) 村井俊治, 奥田勉, 中村秀至: 非測定用カメラを用いた解析的写真測量に関する研究, 東京大学生産技術研究所報告, 29-6 (昭 56) pp.1.